

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

B25J 5/00

B25J 11/00 B25J 13/08

B25J 9/10

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00131682.6

[43] 公开日 2001 年 4 月 4 日

[11] 公开号 CN 1289665A

[22] 申请日 2000.9.7 [21] 申请号 00131682.6

[30] 优先权

[32] 1999.9.7 [33] JP [31] 253053/1999

[32] 2000.7.7 [33] JP [31] 206530/2000

[71] 申请人 索尼公司

地址 日本东京都

[72] 发明人 服部裕一 黑木义博 石田健藏

[74] 专利代理机构 柳沈知识产权律师事务所

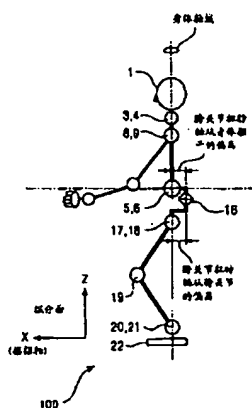
代理人 李晓舒

权利要求书 2 页 说明书 16 页 附图页数 15 页

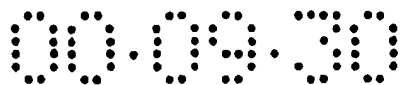
[54] 发明名称 机器人及其关节装置

[57] 摘要

一种包括上肢、下肢和躯干的人形机器人。髋关节具有与髋关节扭转轴、髋关节摇摆轴和髋关节俯仰轴相对应的自由度。该腿运动型人形机器人通过使髋关节扭转轴在摇摆轴方向任意地偏离,就可适应因使用模式发生变化而产生的重心移动影响,以便对上下肢重量进行适用性的平衡。因腰部紧凑,从而形成一种比例适当且在改变脚方向时可避免左右脚间干涉的机器人。因此提供了一种运动自如且利用较少自由度就呈现出足够感觉效果的机器人。



ISSN 1008-4274



权 利 要 求 书

1. 一种利用下肢进行运动的腿运动型机器人, 包括:
至少下肢和躯干;
5 其中, 连接下肢和躯干的髋关节至少具有一个对应于包含在髋关节中的髋关节扭转轴的自由度; 和
其中, 该腿运动型机器人还包括:
偏离设定机构, 该机构用于使髋关节扭转轴在摇摆轴方向上任意地偏离髋关节。
- 10 2. 一种利用下肢运动的腿运动型机器人, 包括:
至少下肢和躯干;
其中, 连接下肢和躯干的髋关节至少具有一个对应于包含在髋关节中的髋关节扭转轴的自由度;
其中, 髋关节扭转轴在摇摆轴方向上偏离髋关节。
- 15 3. 一种利用下肢运动的腿运动型机器人, 包括:
至少下肢和躯干;
其中, 用于改变脚尖方向的髋关节扭转轴从供用脚行走的髋关节位置偏离。
- 20 4. 一种利用下肢运动的腿运动型机器人, 包括:
至少下肢和躯干;
其中, 连接下肢和躯干的髋关节至少具有一个对应于包含在髋关节中的髋关节扭转轴的自由度;
其中, 该腿运动型机器人还包括:
偏离设定机构, 该机构用于使髋关节扭转轴在摇摆轴方向上任意地从躯
25 干偏离。
5. 一种利用下肢运动的腿运动型机器人, 包括:
至少下肢和躯干;
其中, 连接下肢和躯干的髋关节至少具有一个对应于包含在髋关节中的髋关节扭转轴的自由度;
30 其中, 髋关节扭转轴在摇摆轴方向上偏离躯干。
6. 一种利用下肢运动的腿运动型机器人, 包括:

至少下肢和躯干；

其中，用于改变脚尖方向的髌关节扭转轴偏离躯干。

7. 一种利用下肢运动的腿运动型机器人，包括：

至少下肢和躯干；

5 其中，躯干在摇摆轴方向上偏离下肢。

8. 一种利用下肢运动的腿运动型机器人，包括：

上肢；

下肢；和

躯干；

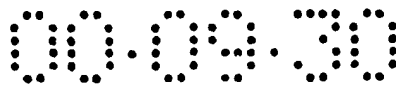
10 其中，上肢在摇摆轴方向上偏离下肢。

9. 一种基于与髌关节摇摆轴、髌关节俯仰轴和髌关节扭转轴对应的转动自由度来伸腿的机器人，其中，至少下肢和躯干沿身体轴线方向大致竖直地进行设置，其中，髌关节扭转轴从身体轴线偏离一定的量。

10. 一种基于与髌关节摇摆轴、髌关节俯仰轴和髌关节扭转轴对应的转动自由度来伸腿的机器人，其中，至少下肢和躯干沿身体轴线方向大致竖直地进行设置，其中，髌关节扭转轴在摇摆轴方向的负方向上从身体轴线偏离一定的量。

11. 一种用于包含多个关节的机器人的关节装置，其中，至少设有与摇摆轴、俯仰轴和扭转轴对应的转动自由度，且扭转轴在摇摆轴方向上从垂直于摇摆轴和俯仰轴的一轴线偏离。

12. 一种用于包含多个关节的机器人的关节装置，其中，至少设有与摇摆轴、俯仰轴和扭转轴对应的转动自由度，且扭转轴相对于摇摆轴和俯仰轴位于扭转位置。



说明书

机器人及其关节装置

5 本发明涉及一种具有可模仿生物体机构和运动的结构的仿真机器人，尤其是，涉及一种具有可模仿人或猴身体结构和运动的结构的腿运动型机器人，该机器人可在直立姿态进行行走。

特别是，本发明涉及一种处于直立姿态时可用双脚行走的腿运动型机器人，其包括设置在腿上的上半身，上半身包括躯干、头部、臂和其它部分。
10 本发明特别是涉及这样一种机器人，该机器人能够以接近于人类的方式，并且以比人体(例如)实际结构少很多的自由度而呈现出足够的情绪和感觉的方式进行自然的运动。

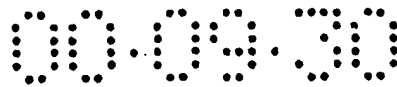
机器人是一种利用电和磁作用来模仿人运动的机械装置。术语机器人起源于斯拉夫语 ROBOTA(受控制的机器)。在日本，在 60 年代末开始使用机器人，大多数是工业机器人，例如，在无人工厂实现自动化操作的机械手和
15 输送机器人。

最近，在腿运动型机器人的研究和开发中已取得了很大的进步，这种机器人可模仿如人或猴这样的动物体的运动和结构，在直立姿态下用双脚行走。因此，很期待将这种腿运动型机器人投入实际使用。在直立姿态下用双脚运动的腿运动型机器人的一个显著特点就是，其行走具有适应性，如上下
20 台阶或越过障碍。

在腿运动型机器人的历史中，对腿运动的研究是通过研究仅使用下肢的腿运动基本技术开始的。因此，这种机器人不是所有的身体部件是竖直设置的。

25 例如，日本待审专利 JP3 - 184782 披露了一种应用于用腿行走的机器人躯干下方结构部件的关节结构。

日本待审专利 JP5 - 305579 披露了用于控制腿运动型机器人行走的控制器。该文献中公开的控制器可控制机器人行走，从而使 ZMP(零力矩点)与目标值相适应。ZMP 是在机器人行走时地板反作用力所产生的力矩为 0 的
30 地板面上的点。但是，如该文件的图 1 所示，力矩所作用的躯干使用黑箱来形成，因此并没有设置所有的身体部件。因此，该文件局限在提出了被看作



是基本技术的腿运动。

不言而喻，构造腿运动型机器人的最终目标是使这些机器人具有身体的所有的部位。特别是，最终目标是使这些在处于直立姿态时可用双脚行走的机器人具有用于以双脚行走的下肢、头部、上肢(包括臂)和连接上下肢的躯干。在这种装有身体所有部件的机器人中，其先决条件是在机器人处于直立姿态的同时通过移动双腿来执行工作。在人类的生活空间中执行这种工作的所有情况下，必须控制机器人，使得上下肢和躯干按照预定的先后次序协调运动。

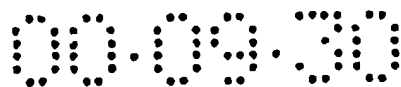
模仿人体结构和运动的腿运动型机器人称为人形机器人。人形机器人可在生活中帮助人们，也就是，在生活环境中的各种不同活动和日常生活的各种不同情况下帮助人们。

通常，将腿运动型机器人粗略地分为工业机器人和娱乐机器人。

工业机器人用于代替人执行各种不同难度的操作，如工业操作或产品加工。例如，它们可代替人在核电厂、热电厂或石化企业进行维护工作，或者在产品加工企业或高层建筑执行危险/困难的工作。最重要的课题是设计和制造工业机器人以使其在特定的工业中使用并提供特定的功能。工业机器人是以其用双脚行走为假定条件进行构造的。但是，作为机械装置，它们不必完全复制如人或猴等在直立姿态时行走的动物的实际身体结构和运动。例如，为了制造出具有特定用途的工业机器人，可分别增大特定部件(如手指尖)的运动自由度和提高其工作性能。在另一方面，可限制与工业机器人的用途不相关的部件(如头部和臂)的运动自由度，或者不形成这些部件。这就使得工业机器人尽管是一种用双脚行走的机器人，但在其工作和运动时具有不自然的外表形状。但是，为了便于设计这种机器人，这种折衷方案是不可避免的。

相反，用于娱乐的腿运动型机器人提供那些与生命本身紧密联系的特性，而不是在生活中帮助人们，例如代替人做难作的工作。换句话说，制造娱乐机器人的最终目标是使这些机器人可完全复制在直立姿态时用双脚行走的人或猴的实际结构，并使其运动自如和平稳。由于娱乐机器人是模仿以直立姿态站立的人或猴这样的高智能动物，因此，需要其以呈现出足够的情绪和感觉效果的方式运动。在此意义上，模仿人运动的娱乐机器人可真正称得上是人形机器人。

简而言之，毫不夸张地说，尽管被称为腿运动型机器人的娱乐机器人分



享了工业机器人的基本技术，但其生产的最终目标是完全不同的，并且使用完全不同的硬件设备和操作控制方法来实现其最终目标。

正如在相关技术中已熟知的，人体具有几百个关节，因此就具有几百个自由度。为了使腿运动型机器人的运动接近于人，最好，腿运动型机器人可象人一样实际运动自如。但是，这在技术上是难以实现的。这是因为：为了来获得一个自由度需要设置一个致动装置，要获得几百个自由度就需设置几百个致动装置，因此增加了生产成本，并且从重量和尺寸的方面看，实际上也不可能将之设计出来。另外，当自由度数目较大时，位置/操作控制或平衡控制所需的计算量就会相应地成指数地增加。

10 以另一种方式重申所声明的，人形机器人必须模仿具有有限数目自由度的人体结构。娱乐机器人需要通过比人体少很多的自由度、以接近于人体运动并且呈现出足够的情绪和感觉效果的方式自然运动。

在直立姿态用双脚行走的腿运动型机器人是行走适应性很强(如：上下台阶或越过障碍)的一种很好的机器人。但是，由于这种机器人的重心处于较高的位置，因此，相应地很难对其进行姿态控制和稳定行走控制。特别是，需要在娱乐机器人象人或猴这样的智能动物一样以呈现出足够的情绪和感觉效果的方式自如运动时对其行走和姿态进行控制。

对于腿运动型机器人的稳定行走已有各种不同的申请。例如，日本待审专利申请 JP5 - 305579 披露了一种腿运动型机器人，通过与目标值零力矩点(ZMP)相协调来使该机器人行走稳定，零力矩点也就是机器人行走时由地板反作用力所产生的力矩为 0 的地板面上的点。

日本待审专利申请 JP5 - 305581 披露了一种腿运动型机器人，其结构使得当该机器人的脚落在地板上或离开地板时，ZMP 或者是处于支承多面体(多边形)的内侧，或者是处于与支承多面(多边形)体端部间隔至少一定预定量的位置上。因此，即使当机器人承受外界干扰时，也不会被与预定距离相对应干扰所影响，这样就可使其行走得更平稳。

日本待审专利 JP5 - 305583 披露可通过 ZMP 目标位置来控制腿运动型机器人的行走速度。特别是，在该文件所披露的腿运动型机器人中，先前设定的行走模式数据可用于驱动臂关节，以便于使 ZMP 与目标位置相一致(match)，并监测身体上部的倾斜状况，从而根据监测值来改变所设定的行走模式数据的发射速度。因此，当机器人不经意地走在不平坦的地面上例如向

前倾斜时，通过提高发射速度就可恢复机器人的原始姿态。另外，由于可控制 ZMP 与目标位置相一致，因此，在支承双臂的装置中改变发射速度是没有问题的。

日本待审专利申请 JP5 - 305585 披露可通过 ZMP 目标位置来控制腿运动型机器人的落地位置。具体说，通过检测 ZMP 目标位置与实际测量位置之间的任何偏移并驱动单臂或双臂来消除这种偏移，或者通过检测对 ZMP 目标位置的力矩并驱动一只臂使其为 0，使得该文件所披露的腿运动型机器人平稳地行走。

日本待审专利申请 JP5 - 305586 披露通过 ZMP 目标位置来控制腿运动型机器人的倾斜姿态。具体说，通过检测对 ZMP 目标位置的力矩并在力矩产生时驱动一只臂使力矩为 0，使得该文件所披露的腿运动型机器人平稳地行走。

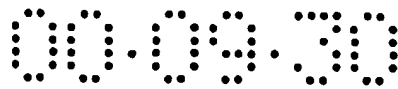
然而，上述文件中没有一篇涉及到在机器人以呈现出足够的象人或猴这样的智能动物一样的感觉效果的方式自如运动时对其行走和姿态进行控制。

Yamaguchi 等人在论文“双脚行走的人形机器人的发展状况”(第三届机器人技术研讨会，1998年5月7和8日)中披露了一种称为 WABIAN(Waseda 双足人形机)的机器人。WABIAN 是一种完整的人形机器人，其不仅具有下肢，而且具有上肢和躯干，这样它就具有身体所有的部件。开发 WABIAN 是为了生产出在行走时整个身体协调运动的机器人。图 13 和 14 是 WABIAN 组合结构的简图。设计和制造的 WABIAN 克服了在工作时整个身体协调运动所涉及的问题。通过控制 ZMP 和由躯干或躯干/腰协调运动的三个轴向力矩补偿操作所引起的在 ZMP 上的扭转轴力矩，就可使机器人在行走的同时，其下肢、手指尖和躯干可任意运动。图中所示的机械模型使用了超硬铝 (Duralumin) 作为主体结构材料，其总重量为 107kg，直立姿态时的整体高度为 1.66m。

因此，本发明的一个目的就是提供一种具有模拟人体结构和运动的结构优秀机器人。

本发明的另一个目的是提供一种优秀的用双脚行走的腿运动形机器人，其包括如躯干、头部、臂等位于腿上部的上半身。

本发明的又一个目的是提供一种以比人体少很多的自由度而以接近于



人体的方式且呈现出足够的情绪和感觉效果的方式自然运动的优秀机器人。

- 5 本发明的再一个目的是提供一种在以呈现出足够的象人或猴这样的智能动物一样的情绪和感觉效果的方式自如运动的同时可对其行走和姿态进行控制的优秀机器人。

为此, 根据本发明的第一方面, 提供一种利用下肢进行运动的腿运动型机器人。该机器人至少包括下肢和躯干。在该机器人中, 连接下肢和躯干的髋关节至少具有一个对应于包含在髋关节中的髋关节扭转轴(yaw axis)的自由度。该机器人还包括一个偏离设定机构, 所述机构用于使髋关节扭转轴在
10 摇摆轴方向上(in a roll axis direction)任意地偏离髋关节。

根据本发明的第二方面, 提供一种利用下肢运动的腿运动型机器人。该机器人至少包括下肢和躯干。在该机器人中, 连接下肢和躯干的髋关节至少具有一个对应于包含在髋关节中的髋关节扭转轴的自由度。髋关节扭转轴在摇摆轴方向上偏离髋关节。

- 15 根据本发明的第三方面, 提供一种利用下肢运动的腿运动型机器人。该机器人至少包括下肢和躯干。在该机器人中, 用于改变脚尖方向的髋关节扭转轴偏离用于用脚行走的髋关节位置。

在本发明的第一至第三方面的机器人中, 髋关节扭转轴偏离髋关节位置的偏离量是可调的, 这样就可适应由机器人使用方式所引起的重心移动的影响, 从而灵活地平衡上下肢的重量。因此, 就可使机器人在直立姿态时平
20 稳自如地行走。

- 通过使髋关节轴线偏离, 对应于腰部的机器人部分的尺寸就可制得小而紧凑, 这样, 就可能制成机械单元尺寸相互成比例的机器人。换句话说, 就可制成一种具有接近于如人或猴这样动物(在直立姿态时行走)的身体自然形
25 状的成比例的外观形状的机器人。

- 当关节扭转轴在向后的方向或在与运动方向相反的方向偏离髋关节位置时, 整个机器人的重心位置就位于髋关节扭转轴之前。因此, 为确保在俯仰方向的稳定性, 髋关节扭转轴设置在每个左右脚中心位置的后面。在此情况下, 即使在转动髋关节扭转轴来改变脚的方向时, 也可减少左右脚之间的
30 干涉。换句话说, 由于不必增大胯部的宽度, 因此, 可较容易地控制机器人的姿态来使其稳定地用双脚行走。



根据本发明的第四方面，提供一种利用下肢运动的腿运动型机器人。该机器人至少包括下肢和躯干。在该机器人中，连接下肢和躯干的髋关节至少具有一个对应于包含在髋关节中的髋关节扭转轴的自由度。该机器人还包括一个偏离设定机构，所述机构用于使髋关节扭转轴在摇摆轴方向上任意地偏离躯干。

根据本发明的第五方面，提供一种利用下肢运动的腿运动型机器人。该机器人至少包括下肢和躯干。在该机器人中，连接下肢和躯干的髋关节至少具有一个对应于包含在髋关节中的髋关节扭转轴的自由度。髋关节扭转轴在摇摆轴方向上偏离躯干。

10 根据本发明的第六方面，提供一种利用下肢运动的腿运动型机器人。该机器人至少包括下肢和躯干。在该机器人中，用于改变脚尖方向的髋关节扭转轴偏离躯干。

根据本发明的第四至第六方面，髋关节扭转轴偏离躯干的偏离量是可调的，这样就可使其适应重心移动的影响，从而灵活地平衡上下肢的重量。因此，就可使机器人在直立姿态时平稳自如地行走。

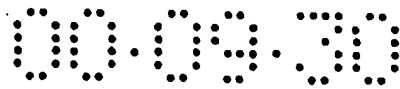
用双脚行走的人的基本运动是基于其前倾姿态的。因此，当将对应于人腰部的躯干向前设置时，机器人就可很容易地呈现出人的自然运动状态。根据本发明第四至第六方面的机器人，通过使髋关节扭转轴在摇摆轴方向上偏离躯干，就可以如实地模仿人的行走姿态。

20 通过偏离操作并使整个机器人的重心略向前移动，就可在机器人行走时使其较容易地利用其自身重量而保持自身平衡。

根据本发明的第七方面，提供一种利用下肢运动的腿运动型机器人。该机器人至少包括下肢和躯干。在该机器人中，躯干在摇摆轴方向上偏离下肢。

25 根据本发明的第八方面，提供一种利用下肢运动的腿运动型机器人。该机器人包括上肢、下肢和躯干。在该机器人中，上肢在摇摆轴方向上偏离下肢。

根据本发明的第九方面，提供一种基于与髋关节摇摆轴、髋关节俯仰轴和髋关节扭转轴相对应的转动自由度来伸腿的机器人。在该机器人中，至少下肢和躯干沿身体轴线方向大致竖直地进行设置，髋关节扭转轴从身体轴线偏离一定的量。



根据本发明的第十方面，提供一种基于与髋关节摇摆轴、髋关节俯仰轴和髋关节扭转轴相对应的转动自由度来伸腿的机器人。在该机器人中，至少下肢和躯干沿身体轴线方向大致竖直地进行设置，髋关节扭转轴在摇摆轴方向的负方向上从身体轴线偏离一定的量。

- 5 根据本发明的第十一方面，提供一种用于包含多个关节的机器人的关节装置。在该关节装置中，至少设有与摇摆轴、俯仰轴和扭转轴对应的转动自由度，且扭转轴在摇摆轴方向上从垂直于摇摆轴和俯仰轴的一轴线偏离。

- 根据本发明的第十二方面，提供一种用于包含多个关节的机器人的关节装置。在该关节装置中，至少设有与摇摆轴、俯仰轴和扭转轴对应的转动自由
10 度，且扭转轴相对于摇摆轴和俯仰轴位于扭转位置。

本发明的其它目的、特征和优点可从对本发明实施例的详细描述和附图中清楚地得出。附图中：

图 1 是本发明一个实施例的人形机器人 100 的正视图；

图 2 是本发明实施例的人形机器人 100 的后视图；

- 15 图 3 是表示本发明实施例的人形机器人 100 的自由度的结构模型简图；

图 4 是本发明人形机器人 100 的控制系统结构简图；

图 5 是表示在纵分面(sagittal)内本发明人形机器人 100 的自由度的结构模型图；

- 图 6 显示了在髋关节扭转轴 16 在摇摆轴方向(the roll direction)上不偏离
20 相应的髋关节位置时，左脚 22L 和右脚 22R 的位置与髋关节扭转轴 16 的位置之间的关系简图；

图 7 显示了在髋关节扭转轴 16 在摇摆轴方向上偏离相应的髋关节位置时，左脚 22L 和右脚 22R 的位置与髋关节扭转轴 16 的位置之间的关系简图；

图 8 是从纵分面所视的人形机器人 100 的大腿部分和胯部的放大图；

- 25 图 9 是从正面所视的人形机器人 100 的大腿部分和胯部的放大图；

图 10 显示了一个用于使髋关节扭转轴 16 偏移的机构；

图 11 是在髋关节扭转轴 16 沿摇摆轴方向最大地偏离下肢位置处进行拧紧操作的状态的截面图；

图 12 是表示人形机器人 100 运动方向的坐标系统图；

- 30 图 13 是从正面所视的双脚行走的人形机器人 WABIAN 的结构简图；

图 14 是从纵分面所视的双脚行走的人形机器人 WABIAN 的结构简图；

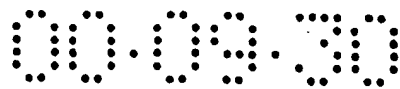


图 15 是人形机器人关节模型结构简图；

图 16 是人形机器人另一种关节模型的结构简图。

在对本发明的优选实施例进行描述之前，先对表示机器人自由度的坐标系进行说明。

5 在该实施例中，机器人的运动方向定义为 X 轴。向左或右的水平方向定义为 Y 轴(向右的水平方向作为正向)。竖直方向定义为 Z 轴。在工业中，通常将 XZ 平面称为纵分面，而将机器人面向前方所处的 YZ 平面称为前面或正面。

10 如图 12 所示，绕运动方向(也就是，绕 X 轴)的转动称为摇摆(roll)，绕向左或右的水平方向(也就是，绕 Y 轴)的转动称为俯仰(pitch)，而绕竖直方向(也就是，绕 Z 轴方向)的转动称为扭转(yaw)。

下面将结合附图对该实施例进行详细的描述。

图 1 和 2 是本发明该实施例的人形机器人 100 的正视图和后视图。图 3 是表示本发明实施例的人形机器人 100 自由度的结构模型简图。

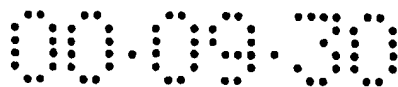
15 如图 3 所示，人形机器人 100 包括上肢、头部 1、下肢和连接上肢与下肢的躯干，上肢包括双臂，下肢包括用于使人形机器人 100 运动的双腿。

支承头部 1 的颈关节有三个自由度，其分别依据相应的颈关节扭转轴 2、颈关节俯仰轴 3 和颈关节摇摆轴 4 产生。

20 每个臂包括肩关节俯仰轴 8、肩关节摇摆轴 9、上臂扭转轴 10、肘关节俯仰轴 11、前臂扭转轴 12、腕关节俯仰轴 13、腕关节摇摆轴 14 和手 15。实际上，每只手 15 具有一个包括多个关节/自由度的结构和多个手指。但是，由于手 15 的运动对机器人 100 的姿态和行走的控制的影响很小，因此，假定每只手 15 的自由度为 0。每个臂就有 7 个自由度。

25 躯干具有三个自由度，其分别依据相应的躯干俯仰轴 5、躯干摇摆轴 6 和躯干扭转轴 7 产生。在说明书中，躯干俯仰轴 5 与躯干摇摆轴 6 的交点被定义为躯干位置。

30 腿或每个下肢包括髋关节扭转轴 16、髋关节俯仰轴 17、髋关节摇摆轴 18、膝关节俯仰轴 19、踝关节俯仰轴 20、踝关节摇摆轴 21 和脚 22。在说明书中，每个髋关节俯仰轴 17 与其相应的髋关节摇摆轴 18 的交点被定义为每个髋关节的位置。实际上，人体每只脚 22 的结构包括一个具有多个关节和自由度的脚板。但是，实施例中人形机器人 100 的每个脚板的自由度为 0。



因此，每条腿具有 6 个自由度。

总计，实施例中人形机器人 100 的总自由度数为 $3 + 7 \times 2 + 3 + 6 \times 2 = 32$ 。但是，娱乐型人形机器人 100 的自由度数不必限定为 32。显然，其自由度数也就是关节数可根据设计和制造机器人的限定条件和所要求的特定规格来增加和减小。

上述人形机器人 100 的每个自由度实际上通过使用致动装置来实现。为满足将机器人外表的多余凸起部分去除掉而使机器人形状与人的自然形状相似的要求以及控制用双脚行走所带来的不稳定结构姿态的要求，最好使用小而轻的致动装置。在该实施例中，在人形机器人 100 中使用小的 AC(交流)伺服致动装置，该致动装置直接与传动装置(gears)相联并装入电机部件中，伺服控制系统制成一个单片系统。在已转让给本申请申请人的日本申请平 11 - 33386 中就描述了这种 AC 伺服致动装置。

图 4 是人形机器人 100 控制系统结构简图。如图 4 所示，人形机器人 100 包括机构单元 30、40、50R、50L、60R 和 60L，它们分别对应于人的头部、躯干和四肢。人形机器人 100 还包括控制单元 80，其可执行适当的控制操作来实现每个机构单元 30、40、50R、50L、60R 和 60L 之间的协调运动。(50R 和 50L 以及 60R 和 60L 中的 R 和 L 分别表示右和左。R 和 L 也同样地用于后面出现的标号中。)

整个人形机器人 100 的运动都由控制单元 80 来控制。控制单元 80 包括主控制部分 81 和外围电路 82。主控制部分 81 包括主体电路元件(未示出)，例如：中央处理器(CPU)和存储器。外围电路 82 包括例如可在例如供电电路和机器人 100 的每个结构部件之间进行数据和指令传递的接口装置(未示出)。

为实现本发明，控制单元 80 的设置位置不必进行特殊限定。尽管在图 4 中控制单元安装在躯干单元 40 中，但其也可安装在头部或人形机器人 100 的外部。当将其安装在人形机器人 100 的外部时，与人形机器人 100 身体的通信可通过有线或无线的方式来实现。

图 3 所示的人形机器人的每个自由度都由相应的关节致动装置来实现。具体说，头部单元 30 包括颈关节扭转轴致动装置 A_2 、颈关节俯仰轴致动装置 A_3 和颈关节摇摆轴致动装置 A_4 ，它们分别与颈关节扭转轴 2、颈关节俯仰轴 3 和颈关节摇摆轴 4 相应地设置。



躯干单元 40 包括躯干俯仰轴致动装置 A_5 、躯干摇摆轴致动装置 A_6 和躯干扭转轴致动装置 A_7 ，它们分别与躯干俯仰轴 5、躯干摇摆轴 6 和躯干扭转轴 7 相应地设置。

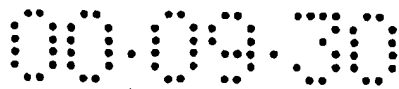
臂单元 50R 分为上臂单元 51R、肘关节单元 52R 和前臂单元 53R。臂单元 50L 分为上臂单元 51L、肘关节单元 52L 和前臂单元 53L。每个臂单元 50R 和 50L 包括肩关节俯仰轴致动装置 A_8 、肩关节摇摆轴致动装置 A_9 、上臂扭转轴致动装置 A_{10} 、肘关节俯仰轴致动装置 A_{11} 、肘关节摇摆轴致动装置 A_{12} 、腕关节俯仰轴致动装置 A_{13} 和腕关节摇摆轴致动装置 A_{14} ，它们分别与
10 各肩关节俯仰轴 8、各肩关节摇摆轴 9、各上臂扭转轴 10、各肘关节俯仰轴 11、各肘关节摇摆轴 12、各腕关节俯仰轴 13 和各腕关节摇摆轴 14 相应地设置。

腿单元 60R 分为大腿单元 61R、膝单元 62R 和胫单元 63R。腿单元 60L 分为大腿单元 61L、膝单元 62L 和胫单元 63L。每个腿单元 60R 和 60L 包括髋关节扭转轴致动装置 A_{16} 、髋关节俯仰轴致动装置 A_{17} 、髋关节摇摆轴致
15 动装置 A_{18} 、膝关节俯仰轴致动装置 A_{19} 、踝关节俯仰轴致动装置 A_{20} 和踝关节摇摆轴致动装置 A_{21} ，它们分别与髋关节扭转轴 16、髋关节俯仰轴 17、髋关节摇摆轴 18、膝关节俯仰轴 19、踝关节俯仰轴 20 和踝关节摇摆轴 21 相应地设置。

最好，每个致动装置 $A_2 - A_{21}$ 是一个小的 AC 伺服致动装置(上面所描述的)其直接与传动装置相联并装入电机部件中，伺服控制系统形成一个单片
20 系统。

辅助控制部分 35、45、55L 和 55R 以及 65L 和 65R 分别用于控制头部单元 30、躯干单元 40、臂单元 50L 和 50R 以及腿单元 60L 和 60R 的相应致动装置的驱动。地面确认传感器 91 和 92 用于检测腿 60R 和 60L 的脚板
25 是否已落在地板上。在躯干单元 40 上装有用于检测姿态的姿态传感器 93。

主控制部分 81 可根据传感器 91 - 93 的输出信号适当地控制辅助控制部分 35、45、55L 和 55R 以及 65L 和 65R，从而使人形机器人 100 的上肢、躯干和下肢协调运动。根据例如使用者的指令，主控制部分 81 可设定腿运动、零力矩点(ZMP)路径、躯干运动、上肢运动、腰部姿态和高度等。
30 然后，主控制部分 81 发出指令使上述身体部件根据前述对每个辅助控制部分 35、45、55L 和 55R 以及 65L 和 65R 的设定进行运动。在发出指令后，



每个辅助控制部分 35、45、55L 和 55R 以及 65L 和 65R 对其所接收到的来自主控制部分 81 的相应指令进行译码，以便于向每个关节致动装置 $A_2 - A_{21}$ 输出相应的驱动控制信号。

5 图 5 是从纵分面观察时示出本发明人形机器人 100 的自由度的结构模型图。为简单起见，在图 5 中略去了图 3 所示的一些关节。在图 5 中，在纸面竖直方向延伸的点划线定义为躯干轴线，也就是大致穿过人形机器人 100 重心的竖直轴线。

该实施例人形机器人 100 的第一个特征是具有一个可任意地设定髋关节扭转轴 16 偏离相应髋关节的偏离位置，也就是，在摇摆轴方向上任意设定
10 躯干偏离下肢的偏离位置的机构。

这里，髋关节的位置被定义在相应的髋关节俯仰轴 17 与髋关节摇摆轴 18 的交点上(如上所述)。如图 5 所示，在摇摆轴方向上每个髋关节扭转轴 16 的偏离量确定了每个下肢相对于其相应的上肢的安装的位置。当髋关节扭转轴 16 的固定位置不偏离时，在纵分面中穿过髋关节位置和相应的髋关节扭
15 转轴 16 的线沿竖直方向对准，也就是沿整个机器人 100 扭转轴方向在一条直线中。与此相反，在图 5 中，髋关节扭转轴 16 是偏离的，因此，在竖直方向它们以相应的偏离量在上方从相应的髋关节位置偏离。

可用于帮助人的生活或构造成与生活紧密联系的形式的人形机器人 100 可以无限种方式进行应用。例如，人形机器人 100 可用单臂或双臂搬运行李，
20 或者将重物抱在双臂中，或者将包扛在肩上。在这些情况下，重心位置是显著变化的。由于每个髋关节扭转轴 16 偏离其相应的髋关节位置的偏离量是可调的，因此就可能适应重心位置的变化影响，上、下肢的重量就可适用性地达到平衡。

当每个髋关节扭转轴 16 沿摇摆轴方向偏离其相应的髋关节位置时，髋
25 关节的尺寸就可做得很紧凑。

尽管产生人形机器人 100 的相应自由度的致动装置 $A_2 - A_{21}$ 是直接传动机构相联且比其它类型的伺服致动装置小的 AC 伺服致动装置(如上所述)，但是，这些致动装置的实际尺寸是在致动装置转动轴线方向或径向的尺寸。关于髋关节扭转轴 16，扭转轴致动装置 A_{16} 增大了高度方向的髋关节尺
30 寸。

如果髋关节扭转轴 16 与其相应的髋关节位置相交成直角，人形机器人

100 的胯部的尺寸就等于致动装置 A17 和 A18(与相应的髋关节俯仰轴 17 和髋关节摇摆轴 18 相一致地形成)的直径(假设为 $2D$)与髋关节扭转轴致动装置 A16 的纵向尺寸(假设为 L)之和。因此,人形机器人 100 的胯部的尺寸为 $2D + L$ 。因此,机构单元的尺寸就不再相互成比例或平衡。在另一方面,当每个髋关节扭转轴 16 偏离时,人形机器人 100 对应于腰部部分的高度就小于 $2D + L$,这就可能制成机构单元相互成比例的人形机器人 100。换句话说,就可能制成比例外形与人体自然形状非常接近的人形机器人 100。这在后面将结合图 8 进行讨论。

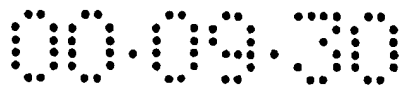
当髋关节扭转轴 16 在摇摆轴方向上偏离其相应的髋关节位置时,这也可在机器人 100 行走时避免其左右脚之间(特别是在脚转动以变换方向时)的干涉。这将结合图 6 和 7 在后面进行说明。通常,双脚行走的机器人可通过沿所需的变换方向转动脚或踝从而在所需的变换方向上使踝前移来改变方向。

当髋关节扭转轴 16 不偏离其相应的髋关节位置时,也就是,当髋关节位置和相应的髋关节扭转轴 16 沿竖直方向对准或在扭转轴方向上处于一条直线中时,负荷就集中在特定位置上,使得整个人形机器人 100 的重心位置就限定在髋关节扭转轴 16 的附近。因此,如图 6 所示,为了确保机器人 100 稳定行走,也就是,为了在俯仰方向得到稳定,左右踝必须是固定的,这样,它们就大致与脚 22R 和 22L 的中心对准。

通过在所需的变换方向转动脚并使脚前移,这种用双脚行走的机器人就可改变行走方向。具体说,这只脚要绕其相应的髋关节扭转轴 16 转动。当该髋关节扭转轴 16 不偏离其相应的髋关节位置时,脚的转动中心就大致与踝中心对准。在此情况下,如图 6 所示,踝就大致与相应的脚中心对准,当一只脚转动时,其后跟就会与另一只脚相互干涉,从而使其不可能在预定极限角度范围内改变方向。

通过增大胯部的宽度也就是右腿单元 60R 与左腿单元 60L 之间的距离,可避免左右脚之间的相互干涉(如图 6 所示)。但是,当双足机器人的胯部较宽时,这样尽管在其不行走时的姿态是很稳定的,但在其运动或行走时重心就会显著地向左和右水平移动。因此,在惯性矩作用下机器人的姿态是很难控制的。

相反,如图 5 所示,当髋关节扭转轴 16 在向后的方向或与运动方向相



反的方向上偏离其相应的髌关节位置时，负荷展开了，因此，整个人形机器人 100 的重心就位于髌关节扭转轴 16 之前。由于髌关节扭转轴 16 偏离其相应的髌关节位置，因此，左右脚的转动中心就位于其相应的踝之后。

在此情况下，即使当一个髌关节扭转轴 16 转动来改变方向，也可减小脚 22R 和 22L 之间的干涉。换句话说，由于不必增大胯部的宽度，可以很容易地对姿态进行控制，使机器人双脚行走稳定。

该实施例人形机器人 100 的第二个特征是具有另一个可任意地设定髌关节扭转轴 16 偏离身体上部(也就是在摇摆轴方向上)偏离躯干的偏离位置的机构。

10 在该实施例中，躯干位置被定义为躯干俯仰轴 5 与躯干摇摆轴 6 的交点。(但是，由本发明的要点来推断，躯干位置不应当在特定的意义下进行定义。其应当通过与人或猴的机构相对照来进行确定。)如图 5 所示，每个髌关节扭转轴 16 在摇摆轴方向上的偏离量确定了身体上部在下肢上的固定位置。当髌关节扭转轴 16 固定位置不偏离时，在纵分面内，躯干和髌关节扭转轴的位置竖直地连成一线，也就是沿整个机器人 100 的扭转轴方向直线对准。相反，如图 5 所示，髌关节扭转轴 16 就沿竖直方向在下方偏离躯干位置一定的偏离量。

如上面所提到的，可用于帮助人的生活并紧密地与生活相联系地制成的人形机器人 100 可以无限种方式使用。另外，人形机器人 100 的重心位置可根据使用的方式显著地变化。由于髌关节扭转轴 16 偏离躯干位置的偏离量是可调的，这样就可适应重心移动的影响，从而灵活地平衡上下肢的重量。因此，就可较容易地制成在直立姿态时可稳定行走的重心处于相对较高位置的机器人。

25 人用双脚行走的基本运动是基于其前倾姿态的。换句话说，当将对应于人的腰部的躯干向前设置时，就可很容易地使机器人呈现出人的自然运动状态。通过使髌关节扭转轴 16 在摇摆轴方向上偏离躯干位置，该实施例的人形机器人 100 就可如实地模仿人的行走。

30 通过使髌关节扭转轴 16 偏离并使整个机器人 100 的重心位置略向前移动，就可在机器人 100 行走或运动时使其较容易地利用其自身重量而保持自身平衡。

图 8 是在纵分面观察的人形机器人 100 的胯部和大腿部分的放大图。图



9 是从正面观察的人形机器人 100 的胯部和大腿部分的放大图。

如图 8 和 9 所示, 髋关节俯仰轴致动装置 A_{17} 和髋关节摇摆轴致动装置 A_{18} 安装在大腿单元 61 上。每个髋关节扭转轴致动装置 A_{16} 安装在托架(躯干侧的骨盆)61'上。

5 在图 5 的方案图中, 髋关节俯仰轴 17 和髋关节摇摆轴 18 相交成直角。然而, 实际上, 不能将具有较大体积的致动装置 A_{17} 和 A_{18} 设置成使其摇摆轴线彼此相交成直角。因此, 在该实施例中, 如图 8 和 9 所示, 机器人 100 的结构是这样的, 包含一个相交成直角的轴线的致动装置 A_{17} 设置位置离开俯仰轴 17, 驱动力通过皮带轮传动系统传送到俯仰轴 17, 从而使俯仰轴和摇摆轴彼此相交。

10 如图 8 所示, 在该实施例的人形机器人 100 中, 设定了髋关节扭转轴 16 偏离其相应的髋关节位置的偏离量 O_1 和躯干位置偏离髋关节扭转轴 16 的偏离量 O_2 。

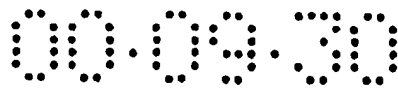
15 正如所讨论的, 通过设置偏离量 O_1 和 O_2 就可很容易地实现重量平衡和姿态控制。

当躯干俯仰轴致动装置 A_5 设置在图 8 所示的位置时, 相应的躯干摇摆轴 6 与相应的躯干关节摇摆轴 18 之间的距离就为 H_1 。另外, 当不设置偏离量 O_2 时, 也就是, 当偏离量 O_2 为 0 时, 躯干俯仰轴致动装置 A_5 只可设置在图 8 虚线所示的位置上。因此, 如图 8 所示, 躯干摇摆轴 6 与髋关节摇摆轴 20 18 之间的距离就增大为 H_2 。这就意味着人形机器人 100 的腰部高度变大了, 这样, 整个人形机器人 100 就不再合适。反过来讲, 通过象该实施例这样设置偏离量 O_2 , 整个人形机器人 100 就可保持很好的协调比例。

图 10 是髋关节周围固定部件的放大图。

25 如上所述, 髋关节俯仰轴致动装置 A_{17} 和髋关节摇摆轴致动装置 A_{18} 安装在大腿单元 61L 和 61R 上。髋关节扭转轴致动装置 A_{16} 安装在托架(躯干侧的骨盆)61'上。如图 10 所示, 大腿单元 61 和托架(躯干侧的骨盆)61'通过髋关节可调安装部件 61-1 上的 4 个螺纹孔进行螺纹安装。如图 10 所示, 螺纹孔是沿偏离方向延伸的槽形, 这样, 髋关节扭转轴 16 偏离其相应的下肢的偏离位置就可根据螺纹紧固位置而很容易地进行设定。

30 图 11 是在髋关节扭转轴 16 在摇摆轴方向最大地偏离相应的下肢位置处进行拧紧操作的截面图。



躯干单元 40(图 11 中未示出)和托架(躯干侧的骨盆)61'通过躯干可调安装部件 61 - 2 上的 4 个螺纹孔进行螺纹旋拧安装。如图 11 所示, 由于螺纹孔是沿偏离方向延伸的槽形, 髋关节扭转轴 16 相对于其相应的上肢的偏离位置可根据螺纹旋拧位置很容易地进行设定。

5 上面结合本发明的特定实施例对本发明进行了详细的描述。但是, 显然, 在不脱离本发明宗旨的情况下, 本领域技术人员可作出一些变化和改型。

10 在申请文件的说明书中, 为方便起见, 躯干俯仰轴 5 与躯干摇摆轴 6 的交点被定义为躯干位置, 而髋关节俯仰轴 17 与髋关节摇摆轴 18 的交点被定义为髋关节位置。但是, 术语“躯干位置”和“髋关节位置”的含义可通过与人体结构相对照来灵活理解, 例如将人的实际关节结构与人形机器人 100 的关节结构进行对照。类似地, 表示身体竖直中心线的术语“身体轴线”的含义也应灵活理解。

15 本发明的要点并不局限于机器人。换句话说, 本发明也可类似地用于属于其它工业领域的任何产品上, 例如: 玩具, 只要该产品是通过使用电力和磁力作用而模仿人运动来进行运动的机械装置即可。

简单地说, 用于描述本发明的这个实施例仅仅是出于说明的目的。因此, 本发明并不局限于此。为了确定本发明的要点, 应当参见本发明的权利要求书。

20 作为参考, 图 15 显示了人形机器人的关节模型结构。在图 15 所示的关节模型结构中, 从肩关节 5 向手 8 延伸的机器人部分包括上臂 3、肘关节 6、前臂 4 和腕关节 7, 其被称为上肢部分 17。从肩关节 5 向躯干关节 10 延伸的机器人部分被称为躯干 9, 其对应于人体的躯干。从髋关节 11 向躯干关节 10 延伸的机器人部分被称为腰 18。躯干关节 10 可产生人体脊柱所拥有的自由度。包括髋关节 11 以下的部件, 也就是大腿 12、膝关节 14、小腿 25 13、踝关节 15 和脚 16 的机器人部分被称为下肢部分 19。通常, 躯干关节 10 之上的身体部分被称为身体上部或上半身, 而躯干关节 10 以下的身体部分被称为身体下部或下半身。

30 图 16 显示了另一种人形机器人关节模型结构。图 16 所示的关节模型结构与图 15 所示的关节模型结构的不同之处在于: 其不具有躯干关节 10。(对于人形机器人不同部件的名称参见图 16。)由于人形机器人不包括对应于人



体脊柱的躯干关节，因此，该人形机器人上部不能象人一样运动。但是，在使用执行危险任务或代替人执行任务的工业人形机器人时，工业人形机器人有时不制成可使其身体上部运动的结构。除了图 15 和 16 以外，图 15 和 16 中的标号不与其它图中的标号相对应。

5 从前述说明书中可以理解到：根据本发明，可以提供一种具有可模仿人体结构和运动的结构的人形机器人。

根据本发明，可提供一种用双脚行走的腿运动型人形机器人，其包括所谓的形成于腿上的上半身，上半身包括躯干、头部和臂。

10 根据本发明，也可提供一种可以用人体少很多的自由度以接近于人体的方式并以呈现出足够的感觉效果的方式自然运动的人形机器人。

本发明的人形机器人是利用下肢用双脚行走的腿运动型机器人，其包括上肢、下肢和躯干。在该人形机器人中，连接下肢和躯干的髋关节具有由其相应的髋关节扭转轴、相应的髋关节摇摆轴和相应的髋关节俯仰轴所产生的自由度。髋关节扭转轴可在摇摆轴方向上任意地偏离。

15 因此，通过适应由机器人使用状态改变所引起的重心移动影响就可灵活地平衡上下肢重量。

20 通过使髋关节扭转轴偏离，就可降低腰的高度，也就是与腰对应的机器人部分的长度，这样，尺寸就可做得很紧凑，并制成各个机构单元尺寸相互成比例的人形机器人，也就是，人形机器人的外观形状接近于人的自然形状。

当髋关节扭转轴在向后的方向或在与运动方向相反的方向上偏离其相应的髋关节位置时，人形机器人的重心就位于髋关节扭转轴的前方。因此，为了确保在俯仰方向的稳定性，将左右踝设置在相应的脚中心之后。在此情况下，即使转动一个髋关节扭转轴来改变相应的脚的方向，也可减少左右脚之间的干涉(例如图 6 所示的情况，一只脚的后跟与另一只脚相碰)。

25 人形机器人可如实地模仿人双脚行走的基本运动，该基本运动是基于前倾姿态而产生的。

进行偏离操作使整个机器人的重心位置略向前移，机器人就可在行走或运动时根据其自身重量而使其自身较容易地保持平衡。

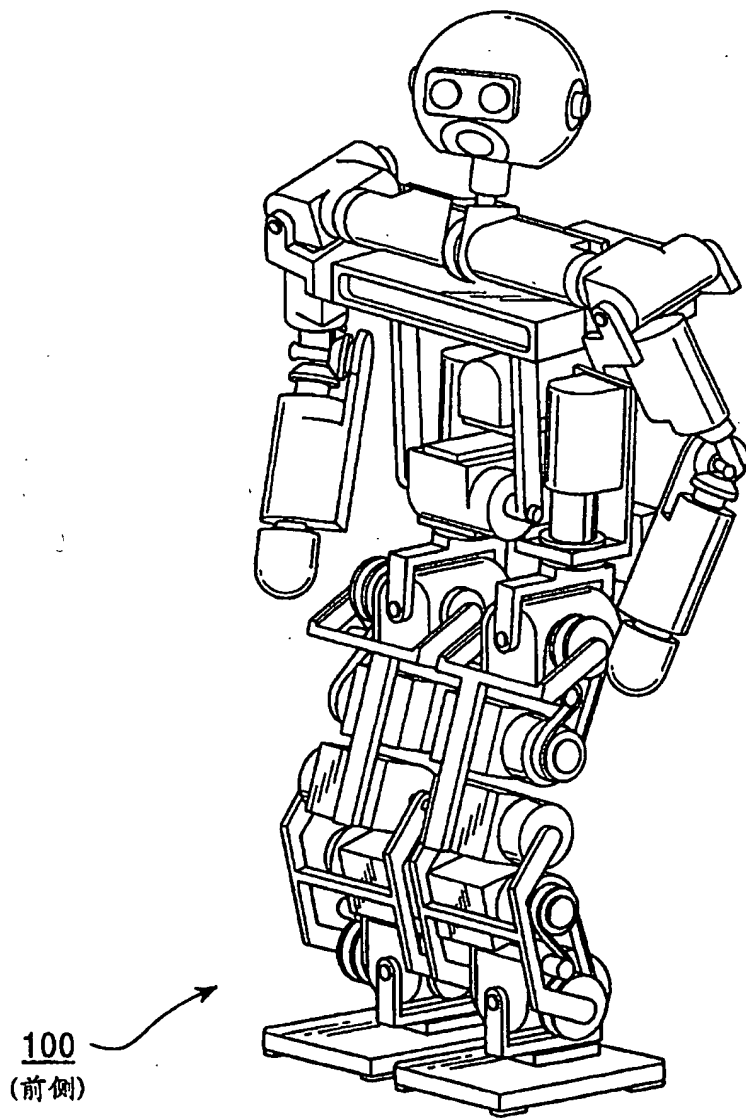


图 1

00-09-30

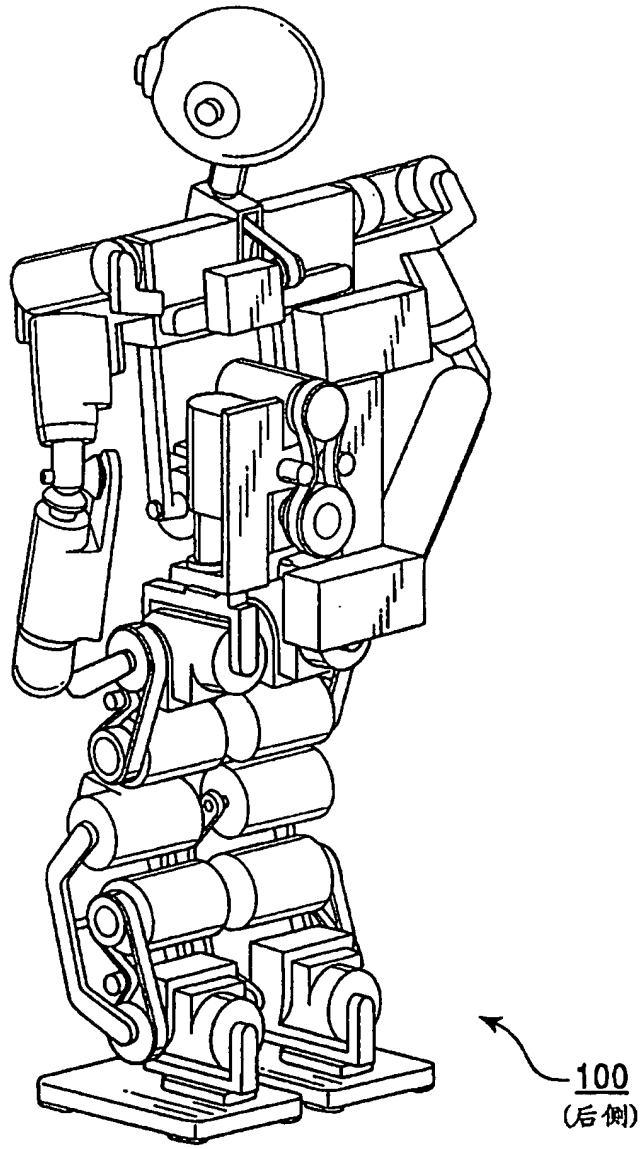


图 2

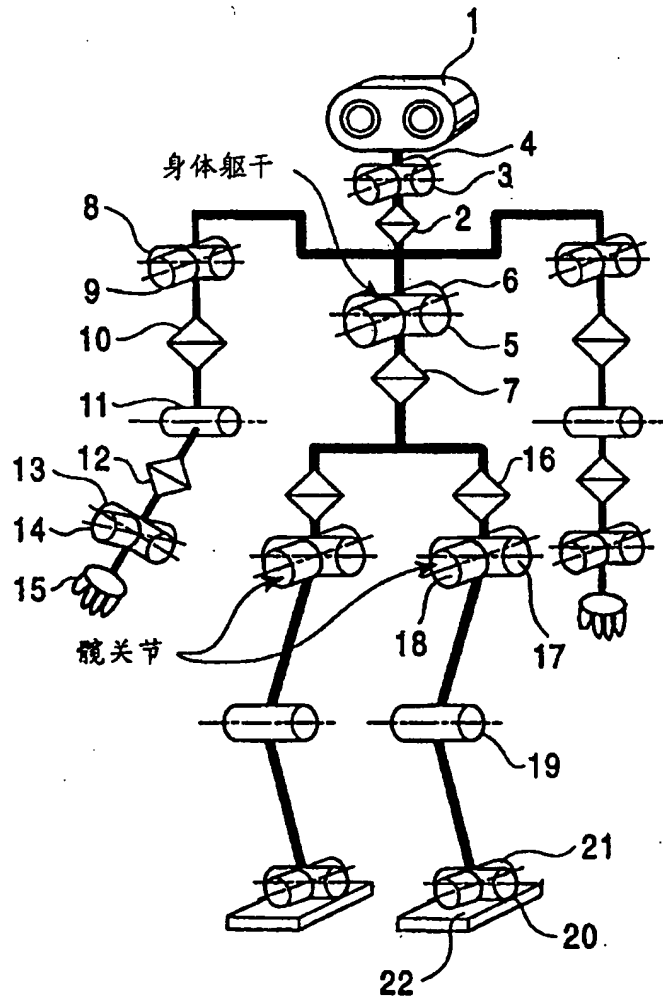


图 3

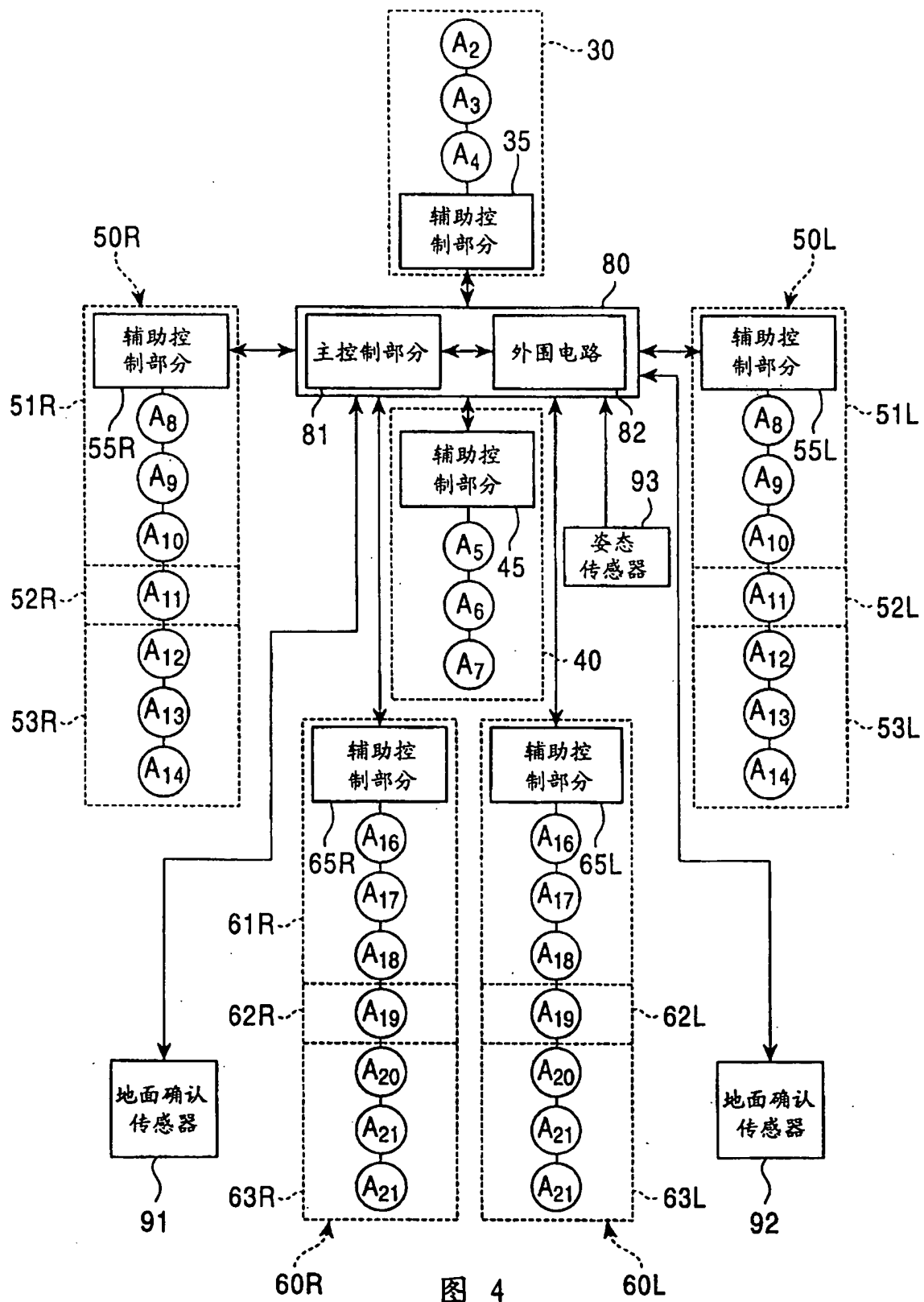


图 4

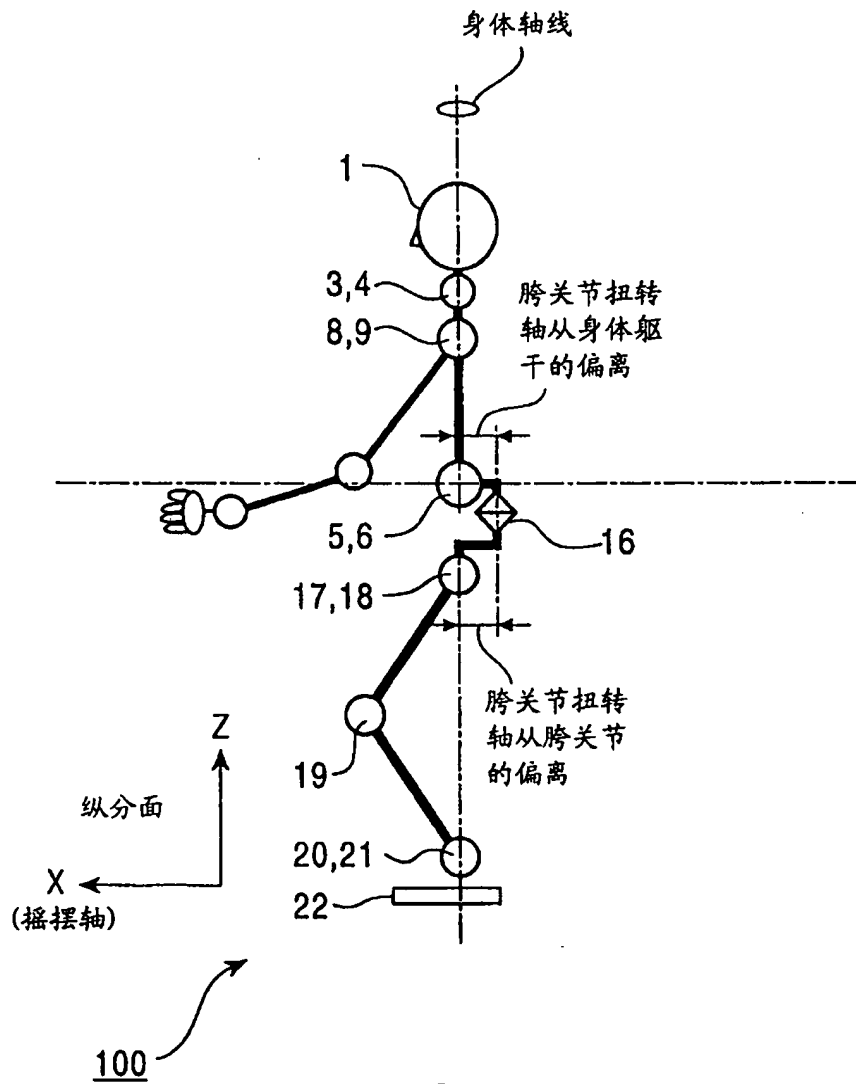


图 5

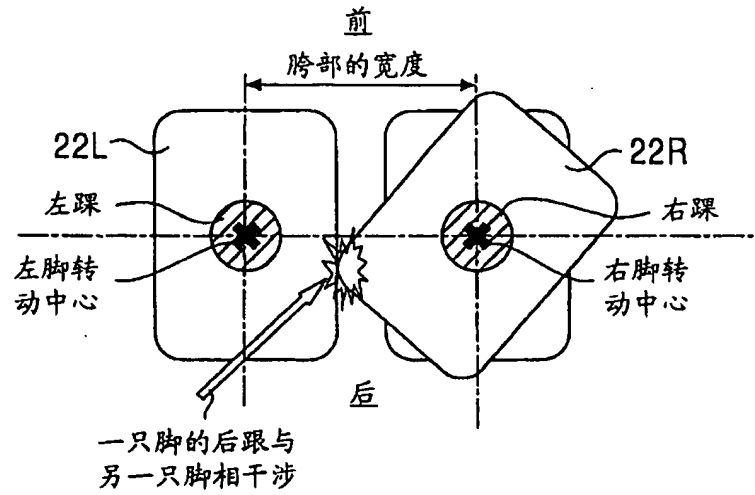


图 6

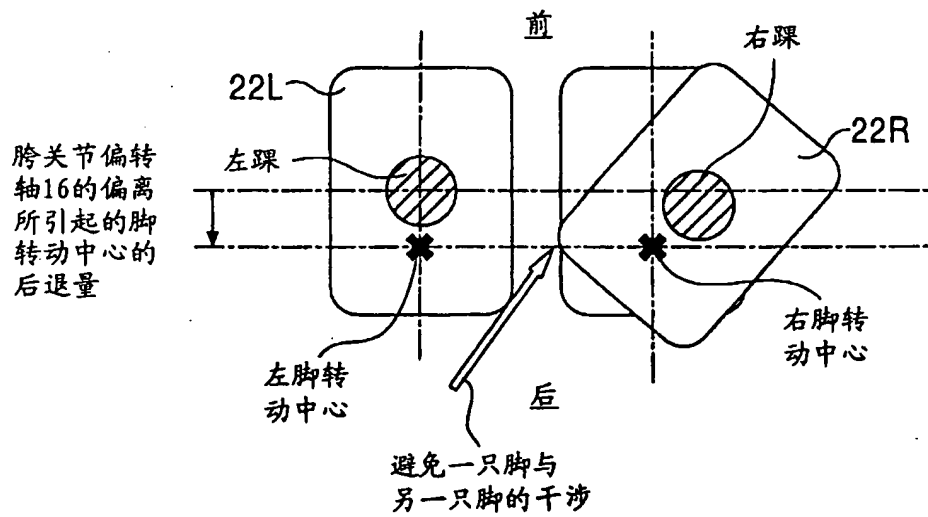


图 7

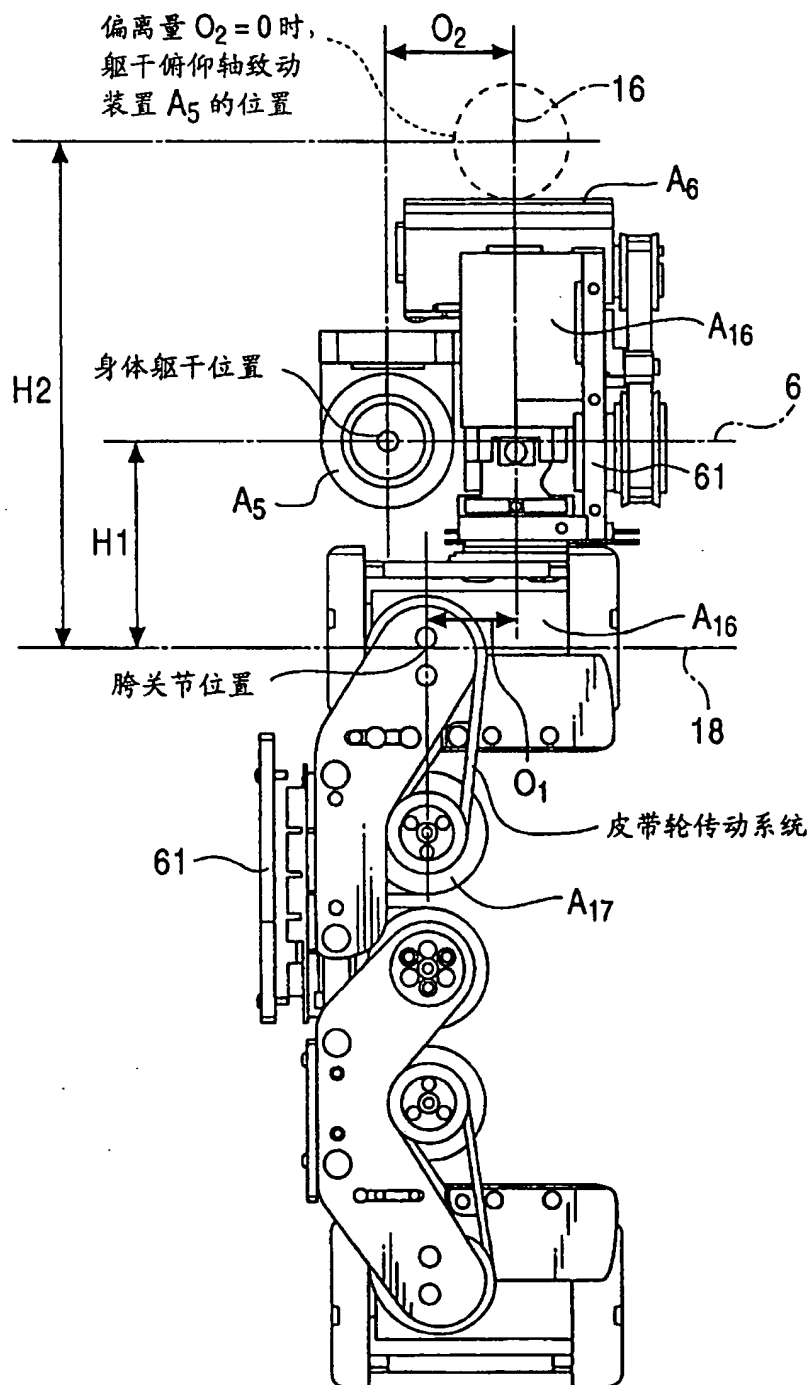


图 8

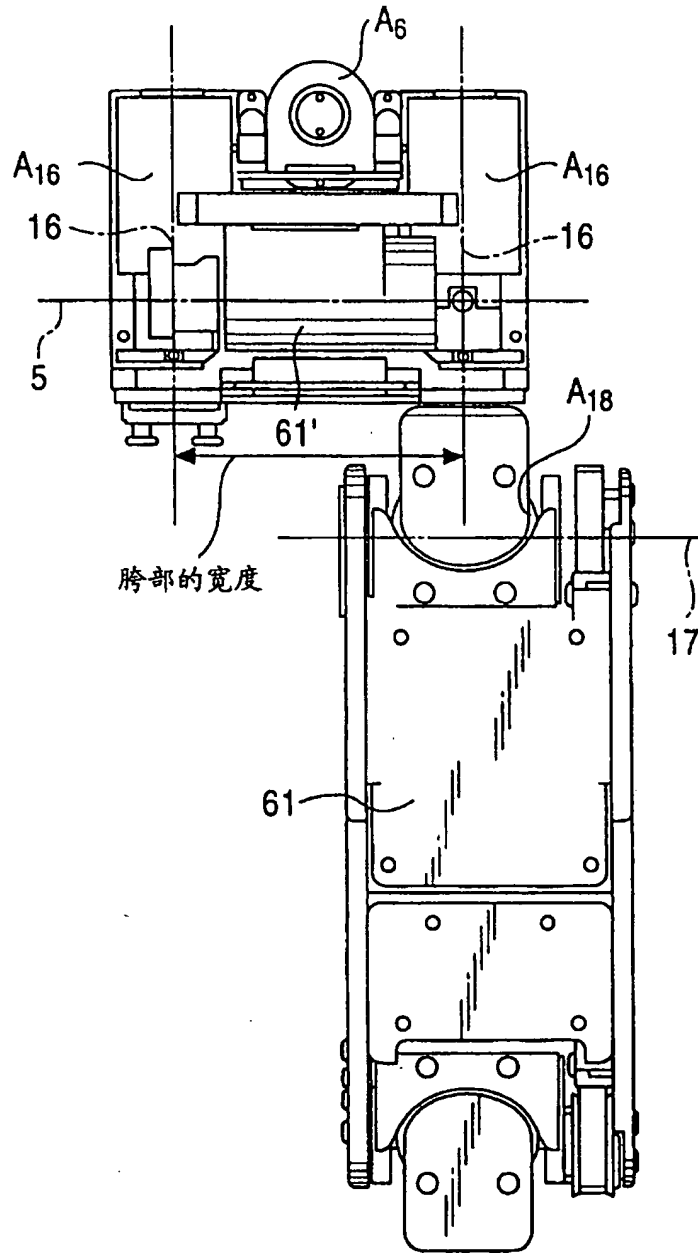


图 9

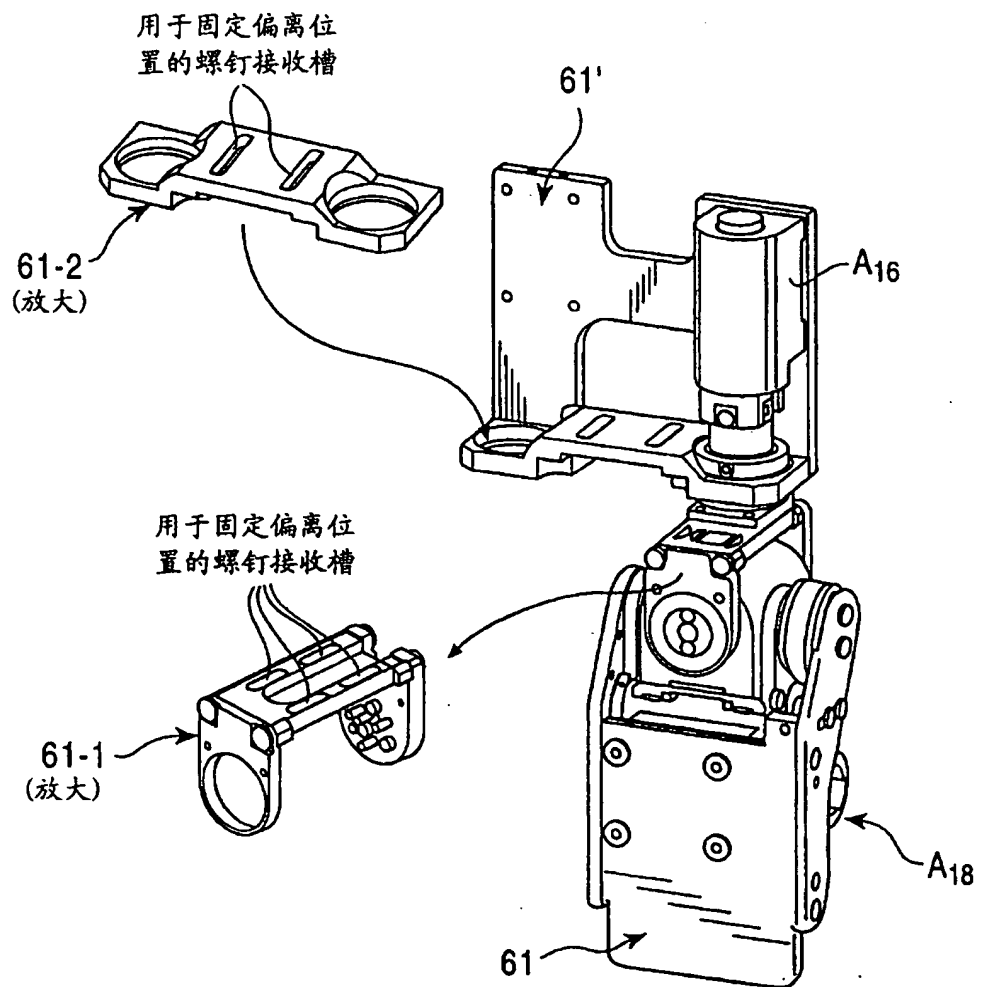


图 10

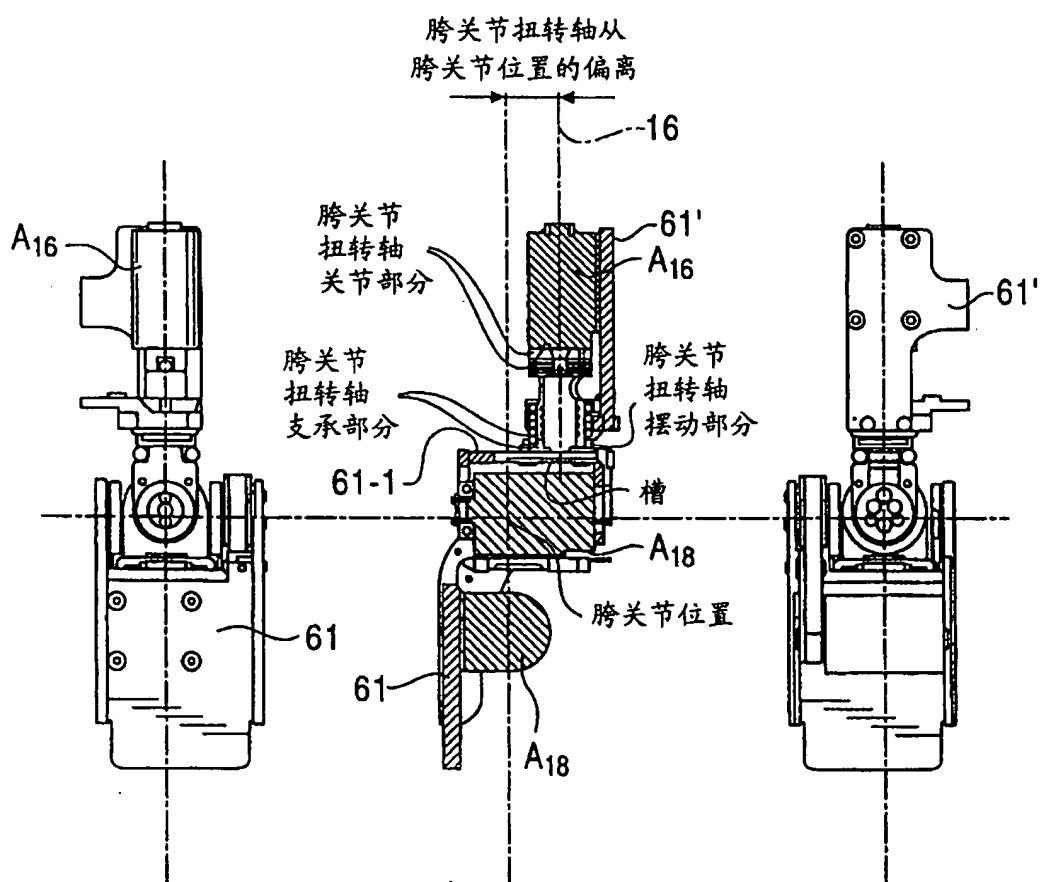


图 11

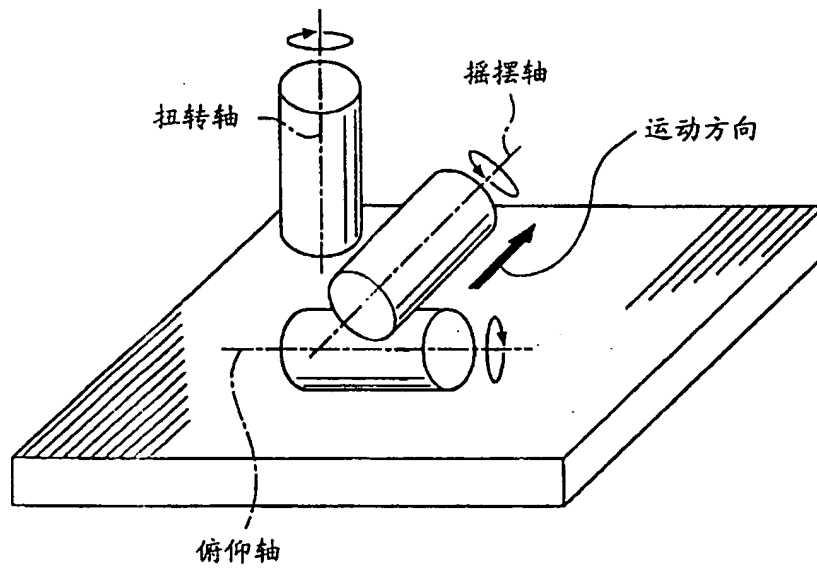


图 12

00-09-30

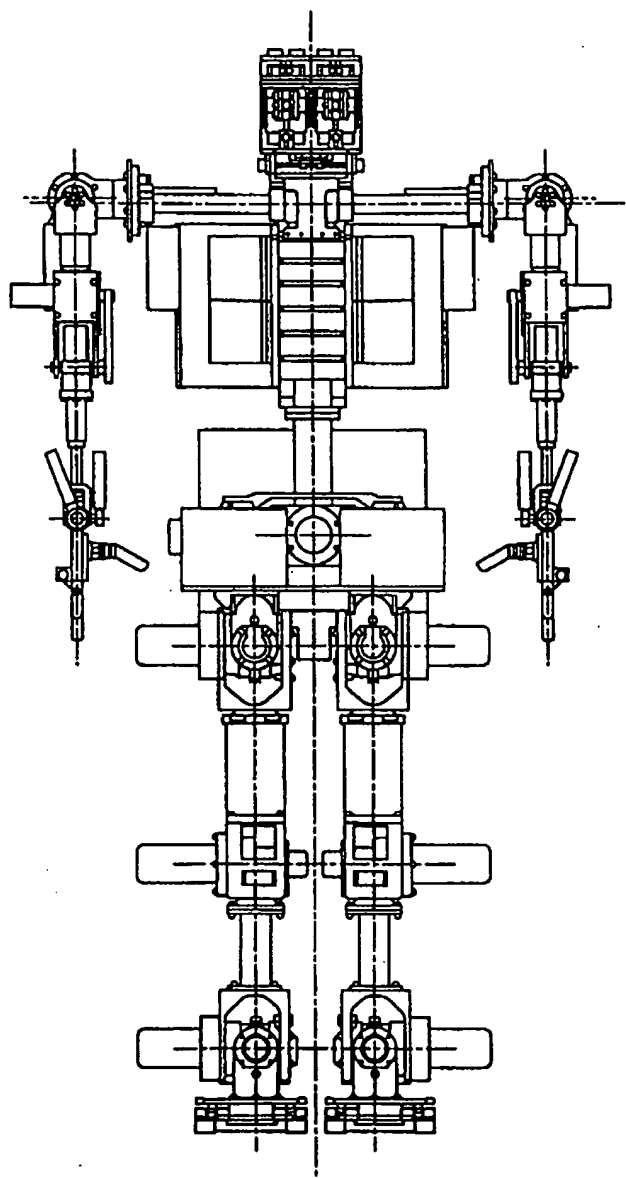


图 13

00-09-30

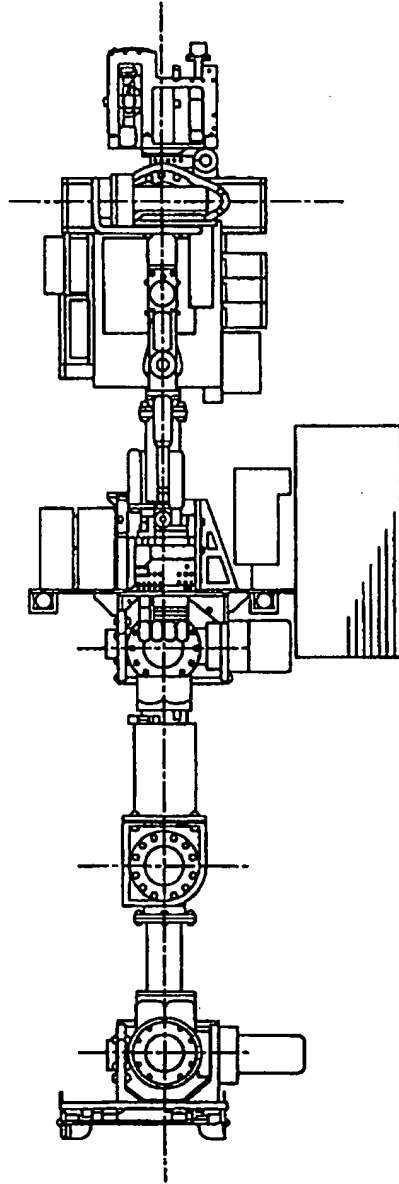


图 14

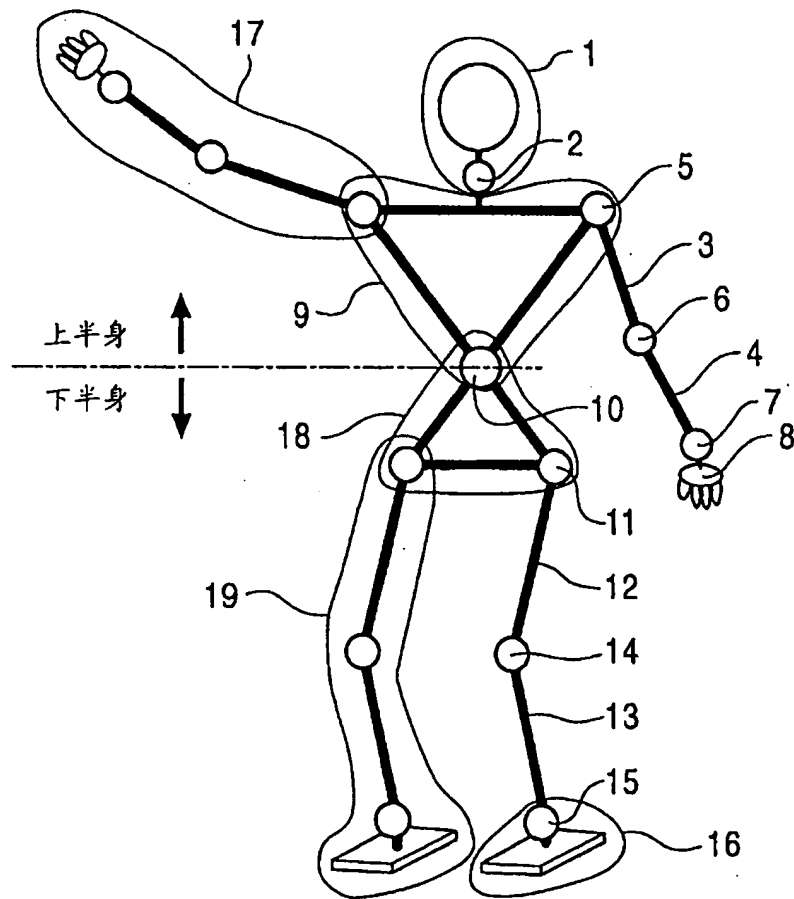


图 15

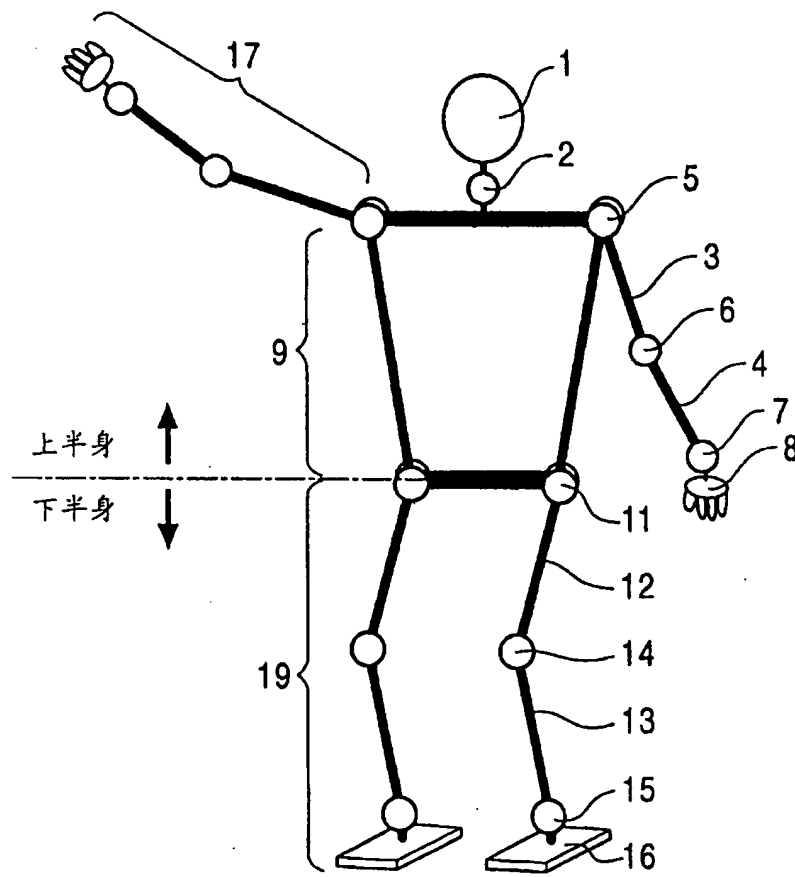


图 16